

# Obtención y análisis de una señal ECG por medio de la transformada de Fourier en Python

Bonilla Salinas Jael Alejandra

*Licenciatura en Física Biomédica* Facultad de Ciencias

---

## Resumen

Este trabajo trata sobre el análisis de una señal de electrocardiograma (ECG) utilizando la transformada de Fourier en el lenguaje de programación Python. Se presentarán los pasos necesarios para adquirir, procesar y visualizar una señal ECG, así como la aplicación de la transformada de Fourier para obtener información sobre las frecuencias presentes en la señal. Los resultados obtenidos se discutirán y se proporcionarán conclusiones sobre la utilidad de la transformada de Fourier en el análisis de señales ECG.

---

## Índice

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| <b>1. Introducción</b>                | <b>1</b> |
| 1.1. Objetivos . . . . .              | 2        |
| <b>2. Metodología</b>                 | <b>3</b> |
| 2.1. Adquisición de CSV . . . . .     | 3        |
| 2.2. Gráfica de valores del DataFrame | 3        |
| 2.3. fft para la señal ECG . . . . .  | 4        |
| <b>3. Resultados</b>                  | <b>5</b> |
| <b>4. Discusión y conclusiones</b>    | <b>6</b> |
| <b>5. Anexo</b>                       | <b>6</b> |
| <b>6. Referencias</b>                 | <b>6</b> |

como en el pecho, los brazos y las piernas. Estos electrodos captan las señales eléctricas producidas por el corazón y las transmiten a una máquina llamada electrocardiógrafo. El electrocardiógrafo amplifica y registra las señales en papel o en una pantalla digital, creando un *electrocardiograma*. [2]

## 1. Introducción

Un *ECG* (Electrocardiograma) es una prueba diagnóstica no invasiva utilizada para evaluar la actividad eléctrica del corazón. El corazón genera impulsos eléctricos que coordinan y controlan el ritmo de sus contracciones. Un *electrocardiograma* registra estos impulsos eléctricos y muestra la actividad cardíaca en forma de ondas en un gráfico.[1]

Durante un *ECG*, se colocan electrodos adhesivos en diferentes puntos del cuerpo,

El *electrocardiograma* proporciona información importante sobre la salud del corazón. Puede ayudar a detectar ritmos cardíacos anormales, como arritmias, y evaluar la función cardíaca en general. También puede proporcionar indicios de daño cardíaco, como un infarto de miocardio, y ayudar en el diagnóstico de enfermedades cardíacas, como la enfermedad coronaria.

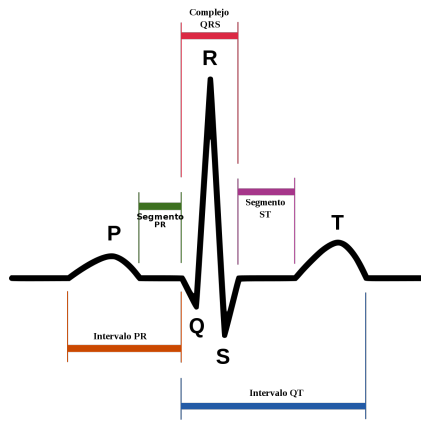


Figura 1: Ondas y complejo característicos de un electrocardiograma normal.

El análisis de un *electrocardiograma* implica evaluar la frecuencia cardíaca, la regularidad del ritmo cardíaco, la duración de los intervalos eléctricos y la forma de las ondas, entre otros parámetros. Los resultados del *ECG* se interpretan en conjunto con los síntomas del paciente y otros exámenes médicos para llegar a un diagnóstico preciso. [1]

El biopotencial eléctrico del corazón es que su amplitud va de  $100 \mu V$  a  $1 mV$ . La actividad cardíaca presenta una frecuencia con un rango de  $0.05-150 Hz$ , pero las señales de interés se encuentran entre los  $0.5-40 Hz$  donde de aproximadamente  $0.5-5 Hz$  pertenecen a la onda P, de  $5-15 Hz$  pertenecen al complejo QRS y de  $10-20 Hz$  corresponde a la onda T. [3]

Por otro lado, la *Transformada de Fourier* es una técnica matemática que se utiliza para analizar señales en dominio de frecuencia. Permite descomponer una señal en sus componentes de frecuencia individuales. En el contexto del ECG, la Transformada de Fourier se puede aplicar para analizar las distintas frecuencias presentes en la señal eléctrica del corazón registrada. Esto puede ser útil para identificar patrones anormales o frecuencias específicas asociadas con ciertas enfermedades cardíacas. [4]

La Transformada de Fourier toma una señal en el dominio del tiempo, como el electrocardiograma, y la descompone en diferentes frecuencias. Esto se realiza mediante la conversión de la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Al aplicar la Transformada de Fourier a un electrocardiograma, se obtiene un espectro de frecuencia que muestra las diferentes frecuencias presentes en la señal. [4]

El análisis del espectro de frecuencia del ECG puede proporcionar información adicional sobre el funcionamiento del corazón.

Además de la transformada, es importante conocer el *teorema de muestreo de Nyquist* que establece que para ser posible realizar la transformada de Fourier de una señal, la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble de la frecuencia máxima presente en la señal. [5]

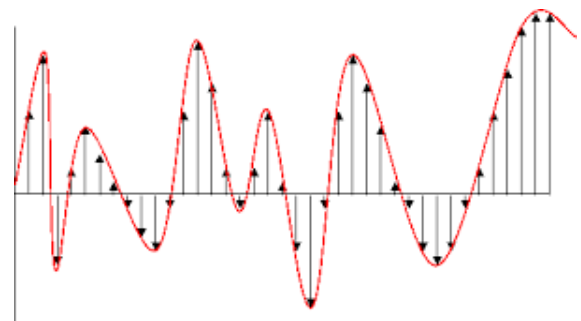


Figura 2: Se hace la reconstrucción de la imagen a partir de la toma de muestras que en este caso se representan por las flechas.

## 1.1. Objetivos

El objetivo general de este estudio consiste en realizar el análisis de una señal de electrocardiograma (ECG) mediante la aplicación de la transformada de Fourier. Este análisis se llevará a cabo para explorar y comprender las características frecuenciales de la señal cardíaca.

## 2. Metodología

Primero, se hizo la búsqueda de una señal de ECG de una persona para poder analizar, para lo cual se consultó la página de **PhysioBank ATM** y se descargó una base en CSV de la cual sabemos que la  $f_s$  tomada fue de 500 Hz, que la muestra se tomó durante 10 segundos y que el total de datos obtenidos fueron 5,000.

### 2.1. Adquisición de CSV

Para esta parte del proyecto se importaron las bibliotecas de *csv* y *pandas* con los que fue posible leer los datos contenidos en el archivo y después convertir esa base a un DataFrame y darle estructura de columnas y filas para así poder manipularlos. Los datos disponibles en la base fueron los de la figura 3:

|      | 'Elapsed time' | 'ECG I' | 'ECG I filtered' |
|------|----------------|---------|------------------|
| 0    | 'hh:mm:ss.mmm' | 'mV'    | 'mV'             |
| 1    | '0:00.000'     | -0.085  | -0.115           |
| 2    | '0:00.002'     | -0.080  | -0.115           |
| 3    | '0:00.004'     | -0.070  | -0.120           |
| 4    | '0:00.006'     | -0.075  | -0.120           |
| ...  | ...            | ...     | ...              |
| 4996 | '0:09.990'     | 0.015   | 0.095            |
| 4997 | '0:09.992'     | 0.030   | 0.095            |
| 4998 | '0:09.994'     | 0.020   | 0.095            |
| 4999 | '0:09.996'     | 0.035   | 0.095            |
| 5000 | '0:09.998'     | 0.040   | 0.095            |

Figura 3: Los datos disponibles son el número de datos que hay en la base, el tiempo en que fueron tomados cada uno de los datos y los valores de voltaje de la señal de ECG, tanto los que tienen un filtro como los que no.

Después se eliminaron columnas y se decidió trabajar únicamente con los valores de ECG filtrados para realizar una gráfica de los valores.

### 2.2. Gráfica de valores del DataFrame

Por el teorema de Nyquist podemos saber también sobre otras variables de interés para obtención de la transformada de Fourier.

Primero, por la teoría sabemos que en una señal de ECG el máximo ancho de banda es de 140 Hz, por lo cual es el valor que se eligió, la  $f_s$  debe ser por lo menos 2 veces el ancho de banda, pero se definió como 500 Hz ya que la base de datos tomaba esa frecuencia de muestreo.  $N$  es el número de muestras y al correr el DataFrame es posible observar que se tienen 5,000,  $T$  sabemos que son 10 segundos, pero podemos corroborarlo al realizar  $T = \frac{N}{f_s}$  y obtenemos el tiempo del muestreo total y para saber cada cuánto se obtiene una muestra se realiza la inversa de  $f_s$  y el código usado está a continuación.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

B = 140 #ancho de banda
f_s = 500 #frec. de muestreo
N = 5000 # muestras
T = N/f_s #tiempo de muestreo total
fs = 1 / f_s #periodo de muestreo
```

```
t = np.linspace(0, T, N) #arreglo
de 0 hasta 10 seg y el número de
intervalos generados
```

```
data_ecg = dfn['ECGIfiltered'].values
#se accede a los valores de la columna
plt.figure()
plt.plot(t, data_ecg)
plt.xlabel('Tiempo (s)')
plt.ylabel('Voltaje (mV)')
plt.grid()
plt.show()
```

La gráfica obtenida con el código anterior es la de la figura 4.

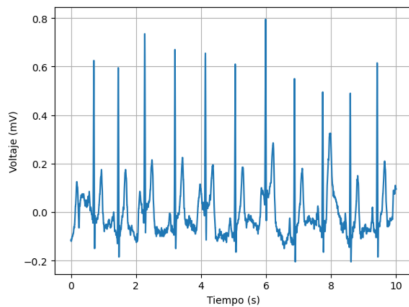


Figura 4: Voltaje vs tiempo de los datos.

Aunque es posible ver la señal de ECG y rectificar que los valores de voltaje corresponden a los que caracterizan una onda normalmente, pero se realizó un ajuste para ver las ondas características de la señal antes de realizar la fft.

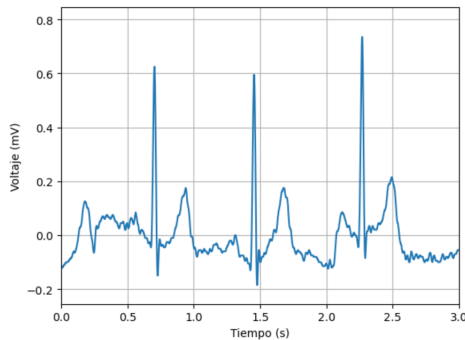


Figura 5: Voltaje vs tiempo de los datos en 3 segundos.

## 2.3. fft para la señal ECG

A continuación se presenta el código en el cual se realiza la transformada rápida de Fourier (fft) en el cual se obtiene la fft de los datos de ecg y se representan sus amplitudes y fases. En el código se toma el valor absoluto de la fft porque la transformada produce la parte compleja, entonces con el absoluto se obtiene la magnitud de los valores sin tomar en cuenta la fase.

La señal obtenida muestra que el voltaje fue convertido al espacio de las muestras, pero

sigue estando en el tiempo.

```
from scipy.fftpack import fft
```

```
F = fft(data_ecg) #fft a la  
norma de los datos
```

```
plt.plot(t, abs(F)) #grafica t que  
se presentó anteriormente contra el valor  
absoluto de la fft de los datos
```

```
plt.xlabel('Tiempo (s)')  
plt.ylabel('|F|')
```

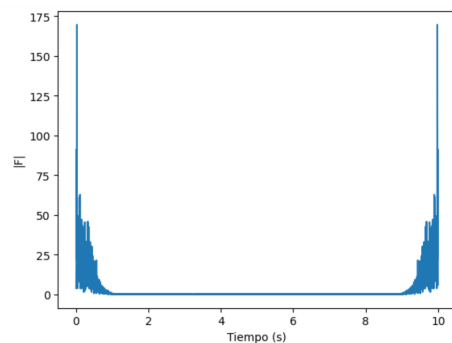


Figura 6: Transformada rápida de la señal ECG.

Por lo que el siguiente paso es realizar la fft para pasar el tiempo al espacio de frecuencias y se genera un array que va a contener las  $N$  muestras con un espaciado del inverso de la frecuencia para calcular de manera correcta la fft. Luego, se pone una mask que va a ajustar los valores correctamente, es decir, los que son negativos los pone detrás del cero y los positivos también los ajusta correctamente, tal como lo indica el código.

```
from scipy.fftpack import fftfreq
```

```
f = fftfreq(N, 1.0/f_s)  
#mueve al espacio de las frecuencias
```

```
mask = np.where(f >= 0)  
#mask a los valores  
si son menores a 0 los ajusta
```

```
plt.plot(f, abs(F))
plt.xlabel('Frecuencia (Hz)')
plt.xlim(-100,100)
plt.ylabel('|F|')
```

Las componentes de frecuencia negativas son el conjugado complejo de las componentes de frecuencia positivas, es decir, que los datos tienen una simetría hermitiana de la Transformada de Fourier. Como se buscan los valores de amplitud y las frecuencias por lo que se tomarán únicamente los valores mayores a 0 y de nuevo ver el eje de las pruebas en valor de amplitud.

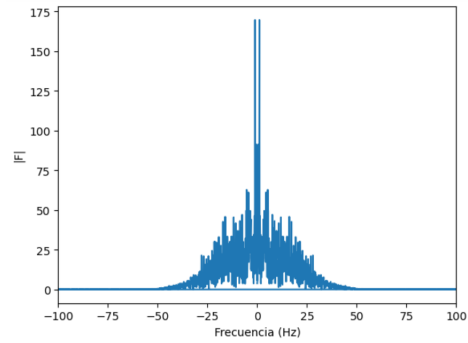


Figura 7: Transformada rápida para mover el tiempo al espacio de las frecuencias.

### 3. Resultados

El resultado de la fft se presenta a través de la figura 8, donde se grafica la amplitud de la frecuencia relativa en función de la frecuencia. Aunque al ver los datos, puede parecer que no está correctamente realizada la fft es porque no representa el Voltaje en y, para poder realizar la conversión es necesario saber la ganancia.

```
yf = F
xf =np.linspace(0.0, 1.0/(2.0*fs),N//2)
#1/2*fs es la resolución de la frec.

plt.plot(xf, 2.0/N * abs(yf[0:N//2]))

plt.xlim(0,60)
plt.xlabel('Frecuencia (Hz)')
plt.ylabel('Amplitud')
plt.grid()
plt.show()
```

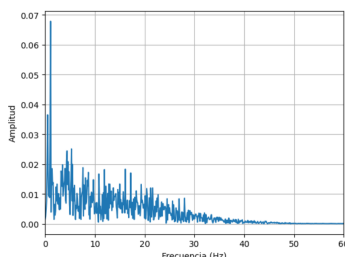


Figura 8: Amplitud de la frecuencia relativa en función de la frecuencia.

Para obtener el voltaje en el eje y, se propone encontrar un promedio de la diferencia del ecg sin filtrar y filtrado, que es una alternativa para conocer una ganancia aproximada.

```
yf = F
xf =np.linspace(0.0, 1.0/(2.0*fs),N//2)

ganancia = prom

plt.plot(xf, ganancia * abs(yf[0:N//2]))
plt.grid()
plt.xlim(0, 60)
plt.xlabel('Frecuencia (Hz)')
plt.ylabel('Voltaje (mV)')
plt.show()
```

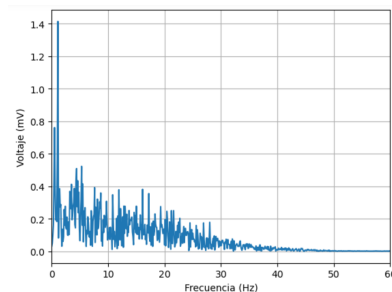


Figura 9: Valor de voltaje en mV en función de la frecuencia.

## 4. Discusión y conclusiones

---

Al realizar el ajuste, fue posible observar que a excepción de un punto, los otros parecen estar dentro de la misma amplitud de voltaje para la señal, al descargar la base se mencionaba que correspondía a una persona sana y al comparar las amplitudes de voltaje en las frecuencias, podríamos decir que son parecidas a un ECG normal.

El punto que difiere puede ser un indicio de ruido, porque a pesar de que la señal estaba filtrada, no sabemos qué tipo de filtros tenía. La señal tiene visibles las frecuencias de interés que van entre los 0.5-40 Hz.

A diferencia de señales más simples, podemos ver una gran cantidad de picos en frecuencia, pero estos van disminuyendo de amplitud cuando la frecuencia es aún mayor.

## 5. Anexo

Repositorio de GitHub: <https://github.com/alebonillas/Proyecto-final.git>

## 6. Referencias

- [1] Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM (s.f.) *FUNDAMENTOS ELECTROFISIOLÓGICOS DEL ELECTROCARDIOGRAMA* Recuperado el 4 de junio del 2023 <https://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2019/10/Prctica-ECG-sesin-III.pdf>
- [2] Cespedes J. (s.f.) *Enfermería Avanzada I: Electrocardiografía* Recuperado el 12 de junio del 2022 de <https://docplayer.es/161345300-Enfermeria-avanzada-i-electrocardiografia-lic-javi.html>
- [3] Castro C., Sanchez P., Yapur M. (2022) *Diseño y construcción de un monitor cardiaco sencillo y económico*. Recuperado el 4 de junio del 2023 de [https://www.researchgate.net/publication/28791858\\_Disenio\\_Y\\_Construccion\\_De\\_Un\\_Monitor\\_Cardiaco\\_Sencillo\\_Y\\_Economico](https://www.researchgate.net/publication/28791858_Disenio_Y_Construccion_De_Un_Monitor_Cardiaco_Sencillo_Y_Economico)
- [4] 3Blue1Brown Español. (2020, 21 septiembre). ¿Qué es la Transformada de Fourier? Una introducción visual [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=h4PTucW3Rm0>
- [5] Oppenheim, A. V., Schafer, R. W. (1989). Discrete-Time Signal Processing. <http://cit.iiit.ac.jp/ncid/BA06610540>